

В. В. ХАЗАНОВ, А. В. МИЗИНЦЕВ, Ю. И. ПЛОТНИКОВ,
Ю. М. ФЕДОРИШИН, В. Ф. ГРАЧЕВ, С. В. ДЕМИДОВ

Мобильная система диагностики изоляторов контактной сети по ультрафиолетовому излучению

Физические основы ультрафиолетового (УФ) метода диагностики изоляторов, технические характеристики УФ-камеры DayCorII компании Ofil (Израиль) последнего поколения, основные направления и задачи по разработке и внедрению УФ-системы диагностики изоляторов контактной сети на базе DayCorII были рассмотрены в статье, опубликованной в журнале «Железные дороги мира», 2004, № 7. В настоящей статье показаны результаты исследований и эксплуатационных испытаний разработанной и реализованной диагностической УФ-системы на базе вагона-лаборатории для испытаний контактной сети (ВИКС) Горьковской железной дороги.

Влияние внешних факторов на интенсивность ультрафиолетового излучения изоляторов

Возникновение и устойчивость разряда, сопровождающегося УФ-излучением, в значительной степени зависят от давления атмосферного воздуха, его температуры, влажности и степени загрязненности поверхности изоляторов.

Как показали исследования, напряжение зажигания тем ниже, чем выше температура, ниже давление и выше влажность атмосферного воздуха. Для реальных условий эксплуатации фарфоровых изоля-

торов контактной сети напряжение зажигания соответствует электрической прочности, составляющей в среднем $E = 24 \div 30$ кВ/см [1].

На рис. 1 представлены результаты расчетов изменения величины пробивного напряжения атмосферного воздуха в зависимости от отклонения значений его температуры $T_{в}$ и давления $P_{в}$ от нормальных значений (соответственно $+20$ °С и 760 мм рт. ст.).

Влияние температуры воздуха на величину пробивного напряжения достаточно существенно. Так, при увеличении $T_{в}$ от -20 до $+40$ °С пробивное напряжение воздуха уменьшается практически на

20–22 %. Изменение давления воздуха $P_{в}$ влияет значительно в меньшей степени.

Особое влияние на интенсивность поверхностных частичных разрядов (ПЧР) оказывает влажность атмосферного воздуха при приближении к состоянию «точки росы» (относительная влажность 100 % с выпадением капель воды на поверхность изолятора). Это приводит к резкому повышению удельной поверхностной проводимости изолятора и формированию множества пар катод—анод, особенно на дефектных поверхностях изолятора. Анализ диаграммы влажного воздуха показывает, что для нормальных условий ($T_{в} = +20$ °С, относительная влажность 60 %) массовое содержание влаги d в 1 кг (1 м^3) воздуха составляет 9–11 г. При охлаждении воздуха (например, ночью) до температуры «точки росы» (в этом состоянии $T_{\text{росы}} = +11$ °С) и повторном нагревании (днем) снова до $T_{в} = +20$ °С из 1 м^3 воздуха выпадет примерно 4–6 г влаги. При температуре воздуха $T_{в} = +35$ °С и относительной влажности 90 % его массовое влагосодержание составляет 33 г/м³. При охлаждении воздуха до $+11$ °С и повторном нагревании до $+35$ °С из 1 м^3 выделится примерно 26 г влаги, т. е. в 4–6 раз больше, чем в нормальных условиях. При этом, как следствие, увеличится удельная поверхностная проводимость изолятора, а следовательно, и интенсивность ПЧР. Это подтверждает и опыт эксплуатации изоляторов контактной сети в юж-

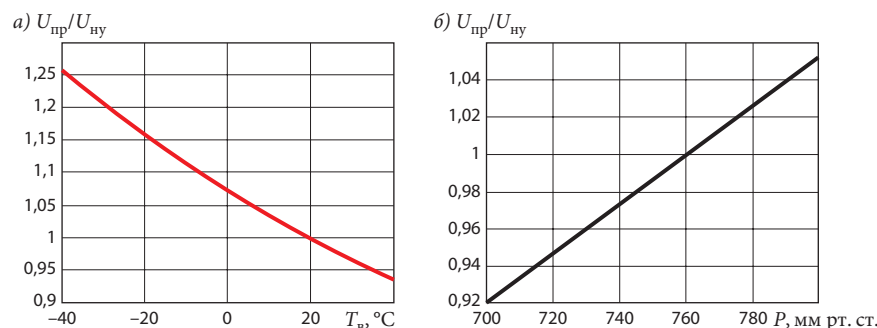


Рис. 1. Изменение относительной величины пробивного напряжения воздуха $U_{пр}/U_{нy}$: а—зависимость от температуры $T_{в}$, °С; б—зависимость от давления воздуха $P_{в}$, мм рт. ст.; $U_{пр}$ —пробивное напряжение; $U_{нy}$ —то же, для нормальных условий

ных широтах с высокими значениями влажности и температуры воздуха. Интенсивность отказов изоляторов в этих условиях значительно выше, чем для средних широт. Существенное влияние на надежность изоляторов контактной сети оказывают близкое расположение морских акваторий с соленой водой и грозовая обстановка.

Влияние величины загрязнения (A_r , мг/см²) изоляции на изменение мокроразрядного напряжения весьма значительно и зависит от состава загрязнений. Так, для подвесного изолятора ПФ-6 при изменении A_r от 0,1 до 0,5 мг/см² мокроразрядное напряжение уменьшается от 30 до 20 кВ при загрязнении топочными уносами, от 23 до 17 кВ при загрязнении цементом и от 18 до 1 кВ при загрязнении изолятора каинитом (химическое удобрение) с полей, расположенных вблизи от контактной сети [2].

Немаловажное влияние на электрическую прочность изоляторов оказывают токи утечки различного характера. Токи утечки зависят от степени и характеристики загрязнения, погодных условий, микроклимата каждой конкретной зоны и других факторов.

На участках переменного тока по сравнению с участками постоянного коэффициент запаса по мокроразрядному напряжению (отно-

Отказы контактной сети в год на 100 км

Устройства контактной сети	Число отказов			
	Постоянный ток		Переменный ток	
	ед.	%	ед.	%
Контактные провода	0,44 (0,14)	38 (12)	0,39 (0,15)	22 (8)
Другие провода подвески	0,21 (0,15)	18 (13)	0,28 (0,12)	16 (7)
Фиксирующие устройства и конструкции	0,11 (0,05)	9 (4)	0,12 (0,08)	7 (4)
Изоляторы	0,1 (0,07)	9 (6)	0,52 (0,37)	29 (21)
Прочее	0,31	26	0,41	26
Всего	1,17 (0,67)	100 (35)	1,8 (1,25)	100 (40)

Примечание. В скобках приведено число повреждений по вине хозяйства электрификации.

шение мокроразрядного напряжения к рабочему) значительно ниже и составляет для постоянного тока 20–25, а для переменного только 2,3–3,6.

Для сравнительной оценки надежности элементов контактной сети (в том числе изоляторов) переменного и постоянного тока в табл. 1 представлены усредненные за последние несколько лет данные по отказам контактной сети [3].

Анализ табл.1 показывает, что по числу отказов изоляторы занимают практически второе место после контактных проводов. Причем число отказов изоляторов на участках переменного тока практически в 5 раз больше числа отказов для участков постоянного тока. Этот факт можно объяснить тем, что указанный выше коэффициент

запаса по мокроразрядному напряжению для изоляторов переменного напряжения в среднем в 7–9 раз меньше аналогичного коэффициента для изоляторов, работающих на участках постоянного тока.

Ниже показаны результаты практической оценки влияния указанных факторов на интенсивность УФ-излучения дефектных изоляторов контактной сети. Эта оцен-

Ток утечки, мкА, тарельчатого фарфорового изолятора при напряжении 3,3 кВ в различных погодных условиях

Ясно	0,5
Пасмурно без осадков	1,4
Иней	3
Туман	15
Слабый дождь	20
Мокрый снег	более 150



Рис. 2. Внешний вид испытательного стенда:

а—консоль с подвешенной гирляндой изоляторов; б—общий вид компьютеризованного измерительного комплекса

Таблица 2

Результаты измерения активного сопротивления и тангенса угла диэлектрических потерь изоляторов в гирлянде

Номер изолятора в гирлянде (сверху вниз)	Активное сопротивление R , МОм	Тангенс угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$, %
1	10	13,5
2	10 000	0,73
3	7	14,3
4	7	12,4

ка выполнена по данным специально проведенных стендовых экспериментов.

Стендовые испытания и оценка УФ-критерия дефектности изоляторов

Испытания диагностической системы проводились в феврале/марте 2006 г. на базе высоковольтного стенда ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО».

Помимо количественной оценки влияния внешних факторов на интенсивность УФ-излучения, важной задачей стендовых испытаний являлось выявление критерия дефектности изоляторов при наблюдении за их УФ-излучением.

Гирлянды изоляторов поочередно подвешивали на специальную изолированную консоль, внешний вид которой показан на рис. 2, а. Здесь же в левой нижней части рисунка показана тепловая газовая пушка мощностью 10 кВт, которая использовалась для изменения температуры атмосферного воздуха. Внешний вид измерительного комплекса в составе УФ-камеры DayCorII и тепловизионной каме-

ры ТН7102, подключенных к компьютеру, представлен на рис. 2, б.

В качестве примера рассмотрим подвесную гирлянду из четырех изоляторов ПФ-70 (опора № 18). Гирлянда была забракована специалистами Дорожной электротехнической лаборатории (ДЭЛ) Горьковской железной дороги и доставлена наряду с 25 другими гирляндами, которые также прошли испытания на стенде.

В табл. 2 представлены результаты измерений активного сопротивления R и тангенса угла диэлектрических потерь $\text{tg}\delta$ для каждого из четырех изоляторов ПФ-70 в гирлянде ($U = 27,5$ кВ переменного тока). Измерения проводились в ДЭЛ Горьковской железной дороги.

Анализ данных, представленных в таблице, показывает, что в гирлянде исправен только один (второй сверху) изолятор, а остальные дефектные, так как для них $R < 300$ МОм, $\text{tg}\delta > 4\%$. При этом вполне логично ожидать, что УФ-излучение проявится, главным образом, на первом, третьем и четвертом изоляторах. Однако, как показало более подробное рассмотрение результатов стендовых испытаний этой гирлянды, на практике оказалось не совсем так.

На рис. 3 показаны результаты УФ-обследований гирлянды при различных значениях температуры воздуха. С помощью тепловой пушки температуру воздуха $T_{\text{в}}$ изменяли от $+10$ до $+30$ и $+38$ °С.

Результаты эксперимента показали, что дефектным в УФ-спектре проявился только второй изолятор (ПЧР в районе цементной заделки стержня). На остальных изолято-

рах гирлянды ПЧР не наблюдались. Этот факт можно объяснить следующим образом. Поскольку сопротивление R на втором изоляторе в 1000 раз больше, чем на остальных, то в результате перераспределения напряжений между изоляторами гирлянды на исправный второй изолятор приходится значительно большее падение напряжения, чем на остальные. В связи с этим напряженность электрического поля в нем может превышать критическое значение $E = 24 \div 30$ кВ/см, что и вызывает возникновение ПЧР. Отсюда можно сделать вывод о том, что при появлении ПЧР или короны хотя бы на одном из изоляторов, всю гирлянду необходимо обязательно обследовать контактными методами.

Анализ влияния температуры воздуха на площадь ПЧР подтверждает аналитические расчеты (см. рис. 1, а). С ростом температуры воздуха, вызывающим снижение пробивного напряжения, площадь ПЧР увеличивается.

На рис. 4 представлена обобщающая диаграмма, показывающая влияние температуры воздуха на условную интенсивность (площадь ПЧР) УФ-излучения. За эту величину принималось отношение площади ПЧР для различных температур на втором изоляторе (S_i) к единичному значению площади (S_0). За единичное значение была принята площадь ПЧР при $T_{\text{в}} = +10$ °С. При увеличении температуры воздуха до $+30$ и $+38$ °С условная УФ-интенсивность увеличилась соответственно в 3,5 и 4,5 раза.

С целью оценки влияния влаги на интенсивность УФ-излучения изоляторов в соответствии с ГОСТ 10390 – 86 «Электрооборудование на напряжение свыше 3 кВ. Методы испытаний внешней изоляции в загрязненном состоянии» на поверхности изоляторов было произведено разовое дисперсное напыление пресной воды. При этом на втором изоляторе возникла мощная корона (рис. 5, а), хотя распыление пресной воды производилось



Рис. 3. Влияние температуры воздуха на интенсивность УФ-излучения дефекта: а — $T_{\text{в}} = +10$ °С; б — $T_{\text{в}} = +30$ °С; в — $T_{\text{в}} = +38$ °С (показаны только первый и второй изоляторы)

только одноразово, а не непрерывно, как предписывает соответствующий ГОСТ.

Чтобы оценить влияние соляных растворов и загрязнений на интенсивность УФ-излучения изоляторов, в соответствии с ГОСТом в 1 л пресной воды добавили 40 г поваренной соли. В соответствии с таблицей ГОСТа это соответствует удельной электрической проводимости раствора $g = 56$ м·См/см, хотя ГОСТ предписывает проводить испытания изоляторов вплоть до $g = 250$ м·См/см. Соляной раствор также мелкодисперсно одноразово нанесли на поверхность изоляторов. Вместе с тем тот же ГОСТ требует непрерывно распылять раствор на изоляторы, т. е. создавать более жесткие условия испытаний.

При начальном увеличении напряжения только до $U = 15$ кВ на первом изоляторе уже возникла сильная корона. При кратковременном (на 2–3 с) подъеме напряжения до 30 кВ возник интенсивный коронный разряд, угрожающий перекрытием и пробоем изоляции (рис. 5, б). В связи с этим напряжение на гирлянде было экстренно понижено до нуля. Последующий осмотр показал наличие множества науглероженных дорожек на поверхности фарфора.

При исследовании влияния на условную интенсивность УФ-излучения изоляторов чистой влаги и соляных отложений с удельной электрической проводимостью g , равной 56 м·См/см, за единичное значение, как и в первом случае, была принята площадь ПЧР на втором изоляторе при $T_{\text{в}} = +10$ °С. При относительной влажности 100 % и соляном растворе интенсивность излучения увеличилась примерно в 31 и 65 раз соответственно.

Проведенные исследования и эксперименты показали, что в качестве критерия УФ-дефектировки изоляторов нужно принять один из следующих коэффициентов:

- коэффициент отношения площадей $K_s = S_{\text{уф}}/S_{\text{и}}$, где $S_{\text{уф}}$ —

площадь ПЧР или короны; $S_{\text{и}}$ — условная площадь тарелки изолятора по максимальному диаметру;

- коэффициент отношения линейных размеров $K_L = L_{\text{уф}}/H_r$, где $L_{\text{уф}}$ — средний линейный размер ПЧР или короны; H_r — высота гирлянды изоляторов.

Данные критерии были приняты в первую очередь из-за их наглядности и возможности оперативной компьютерной оценки во время движения ВИКС.

Результаты эксплуатационных испытаний

Эксплуатационные испытания УФ-системы диагностики изоляторов контактной сети проводились в соответствии со специально разработанной программой на ВИКСе Горьковской железной дороги с 18 по 23 апреля 2006 г. на участках контактной сети напряжением 27,5 кВ как в светлое, так и в темное время суток.

Объезды участков проводились по маршруту Нижний Новгород—Казань—Кизнер—Агрыз и обратно. Причем на перегоне Кизнер—Агрыз их выполняли неоднократно. Кроме того, на этом участке проводили пешие обходы контактной сети и тяговых подстанций.

Аппаратные средства диагностической УФ-системы на ВИКС компоновали и коммутировали следующим образом. УФ-камеру подключали посредством АЦП Pinnacle Studio DC10 Plus к специальному компьютеру Pt IV с двухъядерным процессором и тактовой частотой 3,4 ГГц. Для дистанционного управления УФ-камерой использовали специальный пульт. Цифровые совмещенные цветные УФ- и видеофильмы с привязкой

Рис. 5. Влияние увлажнения и загрязнения изоляторов на интенсивность УФ-излучения:

а — влажность 100 %; б — соляной раствор с удельной проводимостью $g = 56$ м·См/см

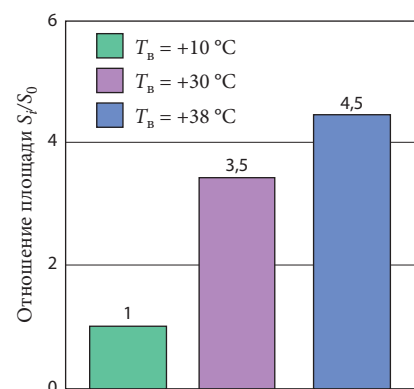
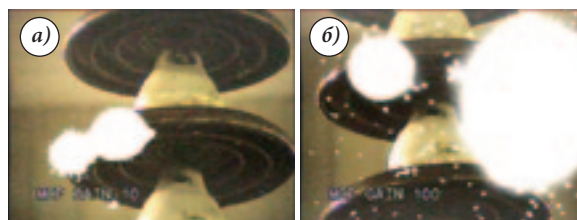


Рис. 4. Влияние температуры воздуха на условную УФ-интенсивность излучения дефектного изолятора

к электронному паспорту пути записывали на два встроенных в ПК жестких диска емкостью по 250 Гб каждый, параллельно просматривали на мониторе, установленном в салоне вагона, и записывали на видеомагнитофон в формате PAL.

УФ-камеру DayCorII устанавливали на штатное место тепловизионной камеры ТН7102 с ориентацией назад или вперед по ходу поезда в зависимости от направления движения. Иллюминатор из германия заменяли на иллюминатор из кварцевого стекла КУ-1. Пропускающая способность КУ-1 для диапазона длин волн от 240 до 280 и от 400 до 750 нм (в этих диапазонах работает двухспектральная УФ-камера) была не ниже 97–99%. Компьютер УФ-системы подключался через СОМ-порт с помощью программы Railwaylink к измерительно-вычислительному комплексу (ИВК) ВИКС для привязки к электронному паспорту пути.

Компоновка аппаратных средств диагностической УФ-системы на вышке ВИКС показана на рис. 6.

Испытания (объезды) проводились в соответствии с утвержденным планом-графиком. Общая

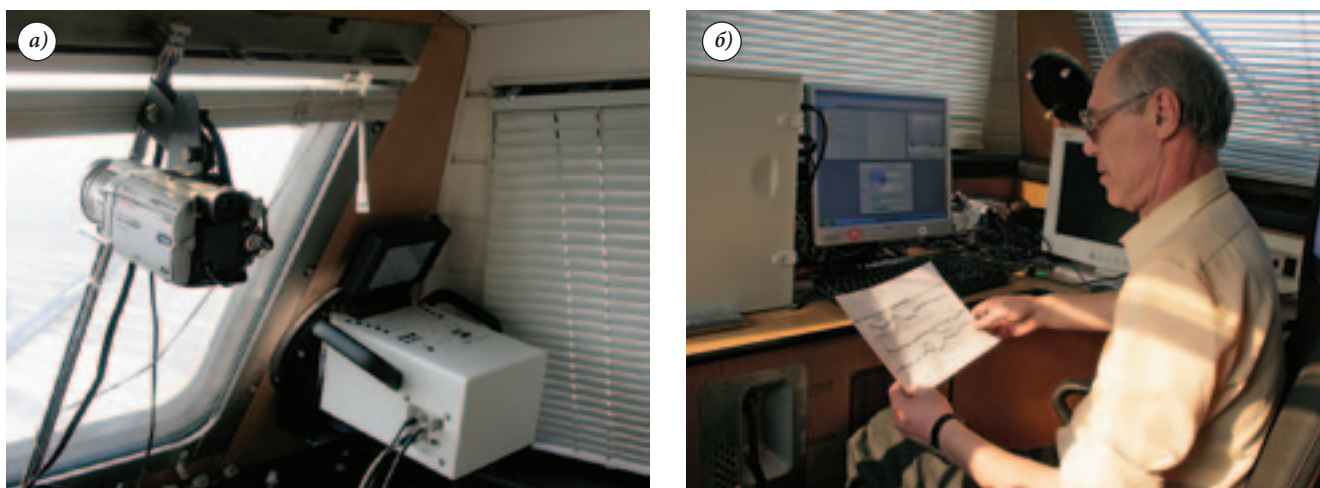


Рис. 6. Компонентная аппаратура средств диагностической УФ-системы:

а—УФ-камера и штатная видеокамера; б—вычислительные модули диагностической системы и рабочее место оператора

суммарная протяженность исследованных участков составила около 1000 км, причем объезды были проведены в прямом и обратном направлении. Они выполнялись как днем, так и ночью при различных атмосферных условиях (ясно, солнечно, пасмурно, сухо, морось, слабый дождь). Температура воздуха

изменялась в среднем от +5 до +20 °С. Скорость движения ВИКС варьировали от 20 до 60 км/ч, а также до 100 км/ч при движении ВИКС в составе поезда.

Наиболее характерным из всех точки зрения выявления системой дефектных изоляторов стал объезд на станции Вятские Поляны

направления Агрыз—Арск, выполненный со скоростью 30–60 км/ч 22 апреля 2006 г. при слабом прерывистом дожде и температуре воздуха от +10 до +12 °С.

На рис. 7 и 8 в качестве примера представлены фрагменты мониторинга технического состояния двух подвесных гирлянд, состоящих из трех фарфоровых изоляторов ПФ-70, расположенных соответственно на опорах № 50 и № 40.

На рис. 7, а и 8, а показаны УФ-изображения, полученные с помощью камеры DayCorII. Поскольку угол поля зрения УФ-камеры небольшой (5°×3,75°), то для большей наглядности и упрощения идентификации гирлянды на дисплей дополнительно выводилось видеоизображение от штатной видеокамеры, имеющей значительно больший (22°×17,5°) угол поля зрения (см. рис. 7, б и 8, б). В табл. 3 представлены параметры изоляторов указанных гирлянд. Данные были получены специалистами ДЭЛ с помощью измерительной штанги ШДИ-25 и электрических стендовых испытаний, проведенных после снятия этих гирлянд.

Анализ рис. 7 и 8 показывает, что дефектные гирлянды с фарфоровыми изоляторами характеризуются наличием мощной короны, четко просматриваемой при дневном свете. Результаты измерений электрических параметров контактными методами



Рис. 7. Фрагмент УФ-диагностирования гирлянды из трех изоляторов ПФ-70 на станции Вятские Поляны (опора № 50): а—УФ-изображение; б—видеоизображение

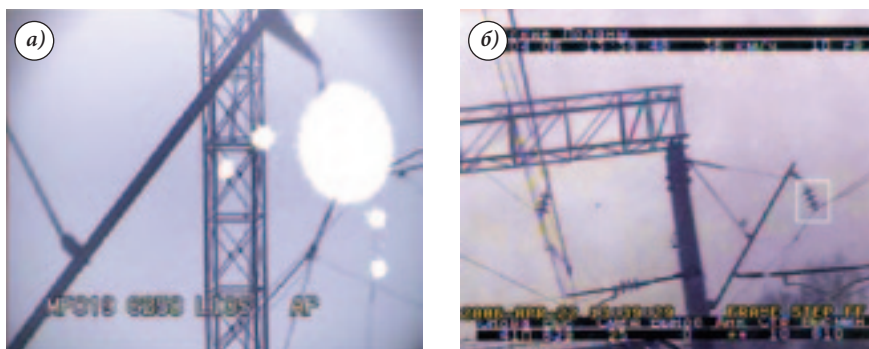


Рис. 8. Фрагмент УФ-диагностирования гирлянды из трех изоляторов ПФ-70 на станции Вятские Поляны (опора № 40): а—УФ-изображение; б—видеоизображение

полностью подтверждают диагноз УФ-системы (см. табл. 3). Обращает на себя внимание тот факт, что интенсивность УФ-излучения (площадь короны) в значительной степени определяется величиной превышения поля допусков для электрических параметров изоляторов, в частности значениями тангенса угла диэлектрических потерь (см. изоляторы № 2 и 1 соответственно на рис. 7 и 8).

В процессе УФ-обследований система фиксировала как дефектные не только фарфоровые изоляторы, но и стеклянные (рис. 9). Гирлянда из четырех стеклянных изоляторов ПС-70Е расположена под ригелем опоры № 69 на станции Вятские Поляны. Контролю на месте эта гирлянда не подвергалась. Анализ зарубежного опыта эксплуатации стеклянных изоляторов и их контроля с помощью DayCorII показывает, что они подвержены окислению и коррозии со стороны стержня и шапки (см. рис. 9, б), что также приводит к появлению ПЧР или короны и может стать причиной снижения сопротивления изоляции и ее пробоя.

Помимо объездов контактной сети на ВИКС, в соответствии с программой УФ-испытаний был проведен ряд пеших обходов с УФ-камерой (рис. 10). Для ее питания использовали специальные аккумуляторы напряжением 12 В, которые обеспечивали непрерывную работу в течение 3 ч.

В процессе пеших обходов было обследовано оборудование тяговой подстанции и устройств контактной сети на станции Агрыз. На рис. 11 представлена гирлянда ввода 110 кВ (средняя фаза) тяговой подстанции на портале Т-1 с незначительным дефектом изоляции и неудовлетворительным обжимом ввода. На рис. 12 показано УФ-изображение двух гирлянд контактной сети (опора № 117 на станции Агрыз) с сильной короной со стороны несущего троса. На рис. 13 можно видеть гирлянду с дефектным подвесным изолятором ПФ-70 со стороны КТП, на

Таблица 3

Параметры изоляции гирлянд на опорах № 40 и 50 станции Вятские Поляны

Номер изолятора в гирлянде (сверху вниз)	Падение напряжения на изоляторе $\Delta U_{изм.}$ кВ		Сопротивление R, МОм		Тангенс угла диэлектрических потерь tg δ , %	
	Нормальное	Фактическое	Нормальное	Фактическое	Нормальное	Фактическое
<i>Опора № 50</i>						
1	4	4	Более 300	2000	Менее 4	16,9
2	4	3		330		26,8
3	5	3		более 10 000		3,4
<i>Опора № 40</i>						
1	4	2	Более 300	70	Менее 4	102
2	4	3		4000		6,3
3	5	4		7000		3,6

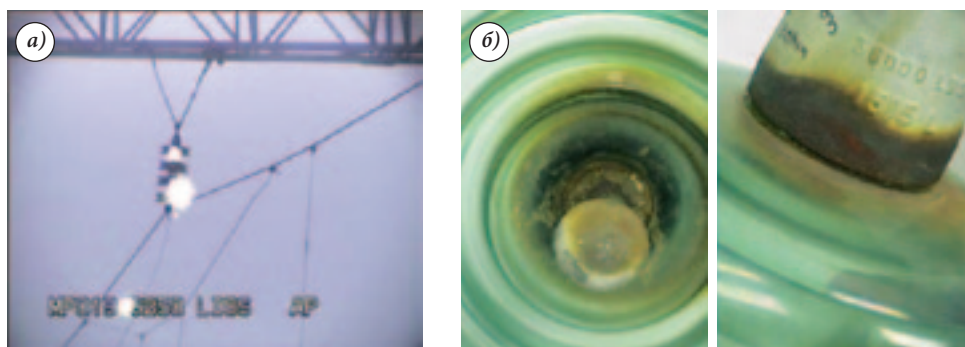


Рис. 9. Гирлянда из четырех стеклянных изоляторов ПС-70Е (опора № 69): а—совмещенные УФ- и видеоизображения; б—окись и коррозия со стороны стержня и шапки как возможные причины коронирования изоляторов



Рис. 10. Работа с носимой УФ-камерой при обходах контактной сети и тяговой подстанции



Рис. 11. Ввод 110 кВ на портале Т-1 тяговой подстанции Агрыз



Рис. 12. УФ-изображение двух гирлянд (опора № 117)



Рис. 13. УФ-изображение изолятора ПФ-70 со стороны КТП

котором наблюдается сильная ша-рообразная корона.

Всего за время эксплуатационных испытаний диагностической УФ-системой были выявлены 53 дефектные гирлянды изоляторов, из которых 52 были подтверждены как действительно дефектные с помощью соответствующих традиционных контактных измерений, выполненных специалистами ДЭЛ Горьковской железной дороги. Результаты этих измерений представлены в виде официальных протоколов и отчета о проведении испытаний. Распределение числа дефектов, выявленных с борта ВИКС УФ-системой во время объезда и в процессе пешеходных обходов, показано на рис.14.

Анализ представленной диаграммы показывает, что достоверность диагностики изоляторов контактной сети с помощью мобильной компьютеризированной диагностической УФ-системы составляет около 96 %.

Программа обработки совмещенных УФ- и видеоизображений

С целью автоматического распознавания изоляторов контактной сети и оценки их технического состояния по цифровым УФ- и видеопортретам, полученным с помощью системы, включающей камеру DayCorII на базе ВИКС, ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» разработало специальный пакет программ UFanalyser, который устанавливается на бортовом компьютере УФ-системы ВИКС, а при необходимости на компьютере энергочастицы или ДЭЛ.

На рис. 15 представлено изображение экрана компьютерного монитора с основными панелями управления программой. В левой верхней части расположены кнопки управления функциями, режимами работы программы и прокруткой УФ-видеофильма, датой и таймером в соответствии со структурой соответствующего файла с расширением *mpg* или *avi*.

Основное окно разделено на две части. Большое поле предназначено для просмотра цифрового УФ-видеофильма. Другая часть окна отведена для диагностических параметров и сведений о привязке каждого кадра к месту (название участка и номеров опор в соответствии с электронным паспортом пути, передаваемых по СОМ-порту от бортового ИВК ВИКС).

Программа позволяет в автоматическом режиме распознавать изоляторы контактной сети, отстраиваться от помех, оценивать ширину, высоту и площадь ПЧР или короны. В представленном фрагменте (см. рис. 15) отражен

процесс автоматического обнаружения программой дефектной гирлянды из трех фарфоровых изоляторов ПФ-70 на опоре № 75С (станция Вятские Поляны). На среднем изоляторе зафиксирован интенсивный коронный разряд. В малом окне показана диагностическая УФ-информация о состоянии не только данной гирлянды, но и всех других, классифицированных УФ-системой как дефектные. Для вызова и просмотра забракованных УФ-системой гирлянд изоляторов оператору достаточно щелкнуть мышью на соответствующих строках в малом окне экрана.

Пакет программ UFanalyser предназначен для освобождения оператора ВИКС от трудоемкой, длительной и рутинной работы по просмотру цифровых УФ-фильмов, поиску гирлянд с ПЧР или короной и оценке их технического состояния. В настоящее время программа находится в стадии доработки в связи с необходимостью более тонкой отстройки от УФ-помех, вызываемых ионизацией воздуха.

Выводы и предложения

1. Результаты эксплуатационных испытаний диагностической УФ-системы на базе камеры DayCorII подтвердили ее работоспособность, пригодность для дефектировки изоляторов контактной сети при движении ВИКС в составе поезда со скоростью 50 – 80 км/ч и более, при полном дневном свете, а также в дождь, при наличии ветра или тумана. При этом по наглядности интерпретации результатов измерений, оперативности и однозначности локализации дефектов УФ-метод диагностики изоляторов значительно превосходит все другие, например ультразвуковой, радиолокационный, электромагнитный и др.

2. За время проведения эксплуатационных испытаний УФ-системы были обнаружены 53 дефектные гирлянды изоляторов, из них

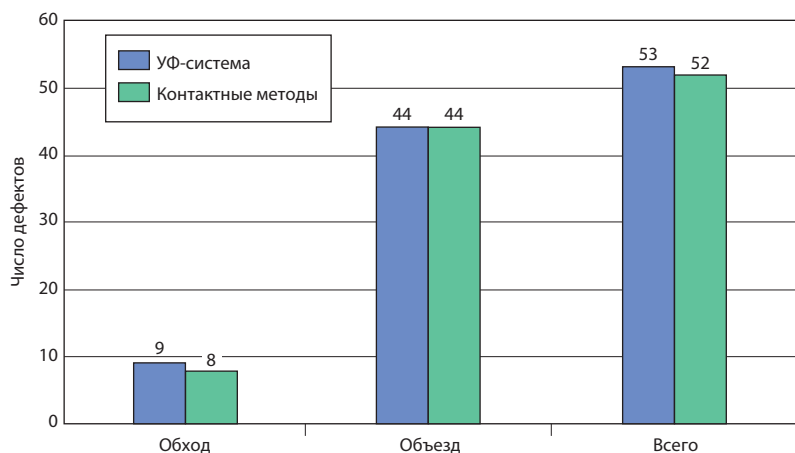


Рис. 14. Распределение числа дефектов, выявленных УФ-системой при объездах и обходах



Рис. 15. Фрагмент процесса автоматического распознавания и диагностирования изоляторов контактной сети с помощью программы UFAnalyser

44 при объезде контактной сети и 9 при обходе контактной сети и тяговых подстанций. При этом достоверность системы составила 96 %.

3. Стендовые испытания показали, что с ростом температуры воздуха от +10 до +38 °С условная УФ-интенсивность излучения увеличивается в 4,5 раза. При увлажнении изоляторов (относительная влажность воздуха 100 %) условная интенсивность возрастает более чем в 30 раз. При имитации увлажненного загрязнения изоляторов с удельной электрической проводимостью 56 м·См/см интенсивность УФ-излучения увеличивается более чем в 60 раз.

4. Эксплуатационные испытания системы позволили сделать вывод о том, что УФ-диагностика

наиболее эффективна во влажную жаркую погоду, когда пробивное напряжение воздуха существенно снижается и повышается чувствительность УФ-метода. Кроме того, диагностическая УФ-система позволяет выявлять дефекты не только фарфоровых, но и стеклянных изоляторов.

5. Для более наглядного и информативного обзора изоляторов контактной сети целесообразно увеличить поле зрения камеры DayCorII в 2 раза.

6. Необходимо продолжить совершенствование алгоритмического, программного и методического обеспечения диагностической УФ-системы; обосновать более эффективные критерии дефектировки изоляторов по аналогии с K_s и K_L на основе статистических оценок; совершенствовать программу автоматизированной диагностики изоляторов UFAnalyser, особенно в части отстройки от УФ-помех, вызываемых ионизацией воздуха.

7. Физическое подобие и аналогия, достаточная простота аппаратно-программной связи ультрафиолетовой и инфракрасной диагностических систем на базе ВИКС позволяют проводить комплексную оценку технического состояния изоляторов и арматуры контактной сети, способствующую повышению чувствительно-

сти, достоверности и оперативности диагностики.

8. Наряду с установкой УФ-камер на ВИКС целесообразно периодически совершать пешие обходы контактной сети, не попадающей в поле зрения системы из ВИКС, а также обследовать изоляцию тяговых подстанций.

9. Необходимо систематически проводить обучение персонала ВИКС, работающего с УФ-системой диагностики изоляторов, повышать уровень организационно-технических мероприятий и технической культуры при использовании и обслуживании системы.

10. Простота конструктивной установки и подключения УФ-системы на вышке ВИКС (по аналогии с тепловизионной системой на базе инфракрасной камеры ТН7102), а также достаточно высокая эффективность камеры DayCorII создают предпосылки для установки УФ-системы на всех ВИКС железных дорог, электрифицированных на переменном токе. Камера сертифицирована и зарегистрирована в Государственном реестре средств измерений под № 30483 – 05 и официально допущена к применению в Российской Федерации.

11. Реализация перечисленных основных направлений и мероприятий по совершенствованию и модернизации диагностической УФ-системы направлена на дальнейшее повышение надежности, безопасности и эффективности изоляции контактной сети железных дорог при одновременном снижении финансовых, трудовых и иных сопутствующих ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Improve System Reliability By using Ofils DayCorII Technology Ofil Ltd. 2003.
2. Сердинов С.М. Анализ работы и повышение надежности устройств энергоснабжения электрифицированных железных дорог. М.: Транспорт, 1975.
3. Ефимов А.В., Галкин А.Г. Надежность и диагностика систем электроснабжения железных дорог. М.: УЭМИИТ, 2000.